

系统科学

主编 许国志

副主编 顾基发 车宏安

上海科技教育出版社

图书在版编目(CIP)数据

系统科学/许国志主编. —上海:上海科技教育出版社,
2000.9

ISBN 7-5428-2355-8

I.系...

II.许...

III.系统科学...

IV.N94

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 36511 号

责任编辑 潘涛 装帧设计 汤世梁

系统科学

主编 许国志

副主编 顾基发 车宏安

上海科技教育出版社出版发行

(上海冠生园路 393 号 邮政编码 200233)

各地新华书店经销 上海新华印刷厂印刷

2000 年 9 月第 1 版 2000 年 9 月第 1 次印刷

ISBN 7-5428-2355-8/N·373

开本 787×1092 1/18 印张 24.5 插页 2 字数 446 000

印数 1-3 000 定价 39.60 元

内容简介

本书是在总结我国二十多年来开展系统科学和系统工程研究、应用、教学的基础上编写的,并在全国范围广泛征求意见,反映了同行的共识性认识。本书全面介绍了系统科学的基础理论、应用理论和工程应用,重点是基础理论的内容。本书系统阐述了对各类系统的结构、功能和演化有普适意义的动力学系统理论(包括分岔、混沌等)、自组织理论、随机性理论,以及简单巨系统、复杂适应系统、开放的复杂巨系统的理论,对信息论、控制论、运筹学、系统工程方法论等系统工程技术作了简要介绍。

本书可作为高等院校系统科学、系统工程、管理工程、计算机及相关工程技术、管理类专业的教材,亦可作为管理人员、工程技术和科学研究人员、管理干部的培训教材和自学参考书。

本书编写组

许国志	中国工程院院士,中国科学院系统科学研究所研究员
顾基发	中国科学院系统科学研究所研究员
车宏安	上海理工大学系统工程研究所教授
陈禹	中国人民大学信息学院教授
苗东升	中国人民大学哲学系教授
姜璐	北京师范大学系统科学系教授
谭跃进	国防科学技术大学管理学院教授

本书评审组

- 于景元 国务院学位委员会委员,国务院学位委员会航空宇航科学与技术学科评议组成员,中国系统工程学会副理事长,中国航天科技集团公司710所研究员
- 方福康 国务院学位委员会委员,国务院学位委员会系统科学学科评议组召集人,中国系统工程学会系统理论委员会副主任,北京师范大学非平衡系统研究所教授
- 汪应洛 国务院学位委员会管理科学与工程学科评议组召集人,西安交通大学管理学院教授
- 范文涛 中国系统工程学会副理事长、学术工作委员会主任,中国科学院武汉物理与数学研究所研究员
- 戴汝为 中国科学院院士,国务院学位委员会控制科学与工程学科评议组召集人,中国科学院自动化研究所研究员
- 许国志 本书主编,中国工程院院士,中国科学院系统科学研究所研究员
- 顾基发 本书副主编,中国系统工程学会理事长,中国科学院系统科学研究所研究员
- 车宏安 本书副主编,中国系统工程学会教育与普及工作委员会主任,上海理工大学系统工程研究所教授

前言

在我国开展系统科学和系统工程的研究和应用,以1978年钱学森、许国志、王寿云发表“组织管理的技术——系统工程”为标志算起,也已整整22年了。20多年来,在老一辈科学家的领导和推动下,在全国系统科学和系统工程界的努力下,在工程应用和基础理论的研究和推广方面都取得了丰硕成果和经验。在此基础上,许国志在1998年8月举办的“系统科学与工程研讨班”开幕式上提出编写一本系统科学教材。1998年8月28日中国系统工程学会常务理事会议讨论决定,将编写系统科学教材列为学会的工作,由教育与普及工作委员会、系统理论委员会和学术工作委员会具体负责;具体工作分两步走:第一步于1999年底编出一本反映目前教学、研究成果的教材,面向理、工、管理类的学生,力求将有关系统科学学科的常用词汇作一定程度的“规范化”,对今后形成“共识”起一定的引导作用。第二步从2000年起有计划地开展有关系统科学(主要是基础理论层次)体系和内容的研讨,条件成熟时再编写一本有系统科学学科基本概念贯穿全书的教材。钱学森听取了汇报,并回信鼓励,很同意提出的第一步工作:将系统科学常用词规范化,指出这是学会的重要工作。

1998年8月底,编写组部分同志在北京讨论了《系统科学教程》章节设置(“编写大纲初稿”)。10月初有关同志在上海讨论并修改成了《系统科学教程》“编写大纲二稿”。12月中国系统工程学会在广州召开第十届年会,有关同志又在广州讨论修改成了“编写大纲三稿”提交中国系统工程学会,学会在年会期间对“编写大纲三稿”进行了专场讨论。根据与会专家的意见,修订成“编写大纲四稿”。《系统工程理论与实践》、《系统工程学报》、《系统工程》、《系统工程:理论、方法、应用》等杂志全文登载了“编写大纲四稿”,在全国范围广泛征求意见。1999年5月初有关同志在北京召开了专门会议,根据收集到的意见对大纲进行了最后的修订,由编写组同志据此分工进行编写。6月底在北京又召开了专门会议,对全书初稿进行了认真讨论,编写组根据讨论的意见对书稿进行了较大的修改。2000年2月10日由戴汝为、汪应洛、方福康、于景元、范文涛以及本书的正副主编许国志、顾基发、车

宏安组成了评审组对书稿进行了审议。根据评审组的意见,编写组对书稿进行了最后的加工。本书虽是分工编写的,但书稿经过多次集体讨论和相互审阅修改,反映了编写组集体的努力和共同的认识。

关于本书的总框架:1. 体现钱学森关于系统科学4个层次的体系。2. 本书的基本内容放在系统科学的基础理论(系统学)这个层次,但为了体现系统科学的体系,对系统科学的技术科学和应用技术两个层次也各列了一章(第10章和第11章)。暂未列专章阐述系统论这个“桥梁”层次。3. 我们认为系统科学的基础理论(系统学)是研究各个领域中的系统(从物理的、化学的、生命的、有意识的,直至社会的系统)所具有的带有共性的一些规律,即系统的结构、功能、演化、协同、控制的一般规律。本书第2章到第9章属于基础理论的内容。这部分的框架,大体上是按“横”、“纵”两方面来阐述的。“横”,是指讨论各类系统都具有的一些性质和规律,我们将其归纳为基本概念和方法(第2章),以及系统所具有的动态规律(按连续和离散分别阐述)、随机性和自组织(第3章至第6章);“纵”,是大体按从简单到复杂,具有不同本质特征的几类系统的理论和方法(第7章至第9章)。这个框架体系是粗略的,尚未体现出“横”、“纵”内容的以及两者之间的逻辑体系,有待下一步研究。

关于本书的内容和框架,基本原则是反映20年来国内“共识”性的教学、研究成果。因此,不少重要的工作尚未反映在书内,即使就“共识”范围来说,也肯定不够全面。本书虽按教材的要求编写,但由于系统科学学科的内容和体系都还不成熟,所以本书也是研究性的著作,希望大家共同来探讨。

作为教材,本书定位在系统科学专业、系统工程专业和管理科学与工程专业的硕士生层次,兼顾博士生和本科生;对博士生,我们建议还应选读本书姊妹篇《系统科学与工程研究》有关章节及其他有关资料。

作为第一本教材性质的系统科学著作,经作者们的努力终于完稿了。有了这个良好的开端,以后就可以在使用中积累经验,不断总结,我们相信很快会有更完善的教材出现。

在本书即将问世之际,我们对所有关心支持我们编写和出版的同志表示深切的谢意。

许国志、顾基发、车宏安

2000年4月

目 录

前言	1
第 1 章 绪论	1
1.1 古今系统思想概述	1
1.2 系统科学的形成和发展	4
1.2.1 科学技术背景	4
1.2.2 40 年代到 60 年代的形成和发展	5
1.2.3 70 年代到 80 年代的发展	8
1.2.4 80 年代以来的发展	9
1.2.5 系统科学在中国的发展	10
1.3 系统科学的体系结构和重要地位	12
第 2 章 基本概念与方法	17
2.1 系统、结构、层次	17
2.1.1 系统	17
2.1.2 结构与子系统	18
2.1.3 整体与涌现性	20
2.1.4 层次	22
2.1.5 系统的分类	23
2.2 环境、行为、功能	23
2.2.1 系统的环境	23
2.2.2 系统的边界	24
2.2.3 开放性与封闭性	25
2.2.4 系统的行为	25
2.2.5 系统的功能	26
2.3 状态、演化、过程	27
2.3.1 系统状态	27
2.3.2 系统的演化	29
2.3.3 系统与过程	30

2.4	系统方法论	31
2.4.1	系统方法的哲学基础	31
2.4.2	还原论与整体论相结合	32
2.4.3	定性描述与定量描述相结合	34
2.4.4	局部描述与整体描述相结合	35
2.4.5	确定性描述与不确定性描述相结合	35
2.4.6	系统分析与系统综合相结合	36
2.5	模型方法	36
2.5.1	模型与原型	36
2.5.2	数学模型	37
2.5.3	基于计算机的模型	39
第3章	连续动态系统	41
3.1	连续动态系统的数学描述	41
3.1.1	线性动态系统	41
3.1.2	非线性动态系统	44
3.2	轨道、暂态、定态	47
3.2.1	状态空间与参量空间	47
3.2.2	暂态与定态	48
3.2.3	初态与终态	50
3.3	稳定性	51
3.3.1	动态系统的稳定性问题	51
3.3.2	稳定性的数学定义	52
3.3.3	定态的稳定性	54
3.3.4	线性系统的稳定性	57
3.3.5	非线性系统的稳定性	58
3.4	吸引子与目的性	61
3.4.1	吸引子	61
3.4.2	吸引域	63
3.4.3	系统的相图	64
3.5	周期运动与回归性	66
3.5.1	非线性系统的自激振荡	66
3.5.2	极限环分析	68

3.5.3	他激振荡	69
3.5.4	回归性与非游荡集	71
3.6	分岔	72
3.6.1	结构稳定性	72
3.6.2	分岔	73
3.6.3	1 维系统的典型分岔类型	74
3.6.4	多维系统的典型分岔类型	77
3.6.5	逐级分岔序列与多样性	79
3.7	突变	80
3.7.1	渐变与突变	80
3.7.2	初等突变的基本类型	81
3.7.3	尖拐突变	81
3.7.4	参量空间的相图分布	84
3.8	连续混沌	86
3.8.1	洛伦茨方程	87
3.8.2	勒斯勒尔方程	88
3.8.3	达芬方程	89
3.8.4	混沌的特点	90
3.9	过渡过程特性	91
第 4 章	离散动态系统	95
4.1	离散映射与离散动力学	95
4.1.1	离散映射	95
4.1.2	自动器网络模型	97
4.1.3	符号动力学	101
4.2	离散混沌	103
4.2.1	周期倍化通向混沌	103
4.2.2	倒分岔、窗口	106
4.2.3	2 维埃农迭代	108
4.2.4	混沌的特征	113
4.3	几种自动器网络模型	117
4.3.1	元胞自动机	117
4.3.2	布尔网络	122

4.3.3	神经网络	125
4.3.4	L-系统	128
4.4	遗传算法	131
4.4.1	遗传算法的基本概念	131
4.4.2	遗传算法的实现	133
4.4.3	模式定理和积木假说	137
4.4.4	遗传算法的实例	140
第 5 章	系统的随机性	145
5.1	随机过程与随机涨落	145
5.1.1	随机过程	145
5.1.2	随机涨落	148
5.2	主方程和福克尔-普朗克方程	152
5.2.1	随机行走模型及其主方程	152
5.2.2	福克尔-普朗克方程	155
5.2.3	福克尔-普朗克方程的定态解	157
5.2.4	主方程与福克尔-普朗克方程的研究思路	159
5.3	随机网络模型	160
5.3.1	整体建模框架	160
5.3.2	开关网络模型	162
5.3.3	开关网络模型的应用	169
第 6 章	系统的自组织	173
6.1	自组织与他组织	173
6.1.1	组织	173
6.1.2	他组织	174
6.1.3	自组织	176
6.2	两种有序原理	180
6.2.1	序的一般概念	180
6.2.2	对称性与有序	182
6.2.3	两种有序	185
6.2.4	有序与系统演化	188
6.3	自组织理论	189
6.3.1	耗散结构形成的条件	189

6.3.2	自组织的状态描述	192
6.3.3	役使原理	194
6.4	自组织的几种形式	196
6.4.1	生物学简单回顾	197
6.4.2	自创生	198
6.4.3	自复制	199
6.4.4	自生长	200
6.4.5	自适应	201
第 7 章	简单巨系统	203
7.1	简单系统与简单巨系统	203
7.1.1	简单系统	203
7.1.2	简单巨系统	206
7.2	熵——简单巨系统的基本概念	208
7.2.1	玻尔兹曼熵	208
7.2.2	概率测度熵	210
7.2.3	简单巨系统熵定义	211
7.2.4	简单巨系统熵对系统的描述	213
7.3	数学模型	213
7.3.1	唯象方法:宏观唯象演化模型	214
7.3.2	微观方法:分析微观作用建立模型	218
7.3.3	统计物理方法:统计静态模型	220
7.3.4	随机层次方法:随机层次演化模型	222
7.4	系统演化的分析方法	224
7.4.1	微扰论——渐变分析方法	225
7.4.2	平均值分析——变量相关性讨论	228
7.4.3	算子结构分析	232
7.5	简单巨系统理论的应用	234
7.5.1	建立模型	236
7.5.2	分析计算、结果讨论	243
7.5.3	启发	246
第 8 章	复杂适应系统理论及其应用	249
8.1	CAS 理论的基本观点和概念	249

8.1.1	圣菲研究所和 CAS 理论的产生	249
8.1.2	CAS 理论的核心思想——适应性造就 复杂性	252
8.1.3	CAS 理论的基本概念	253
8.1.4	CAS 理论的主要特点	257
8.2	个体怎样适应和学习	260
8.2.1	刺激-反应模型	260
8.2.2	适应度的确认和修改	263
8.2.3	新规则的产生	264
8.3	从个体到全局——回声模型	266
8.3.1	位置和资源	266
8.3.2	回声模型的基本框架	267
8.3.3	回声模型的扩充	268
8.4	CAS 理论的实现——SWARM 的功能和应用	270
8.4.1	SWARM 的建模方法	270
8.4.2	基于 SWARM 的模型实例	271
8.5	CAS 理论的应用	292
8.5.1	CAS 理论的主要应用领域	292
8.5.2	CAS 理论的进一步发展	293
第 9 章	开放的复杂巨系统	297
9.1	关于复杂性	297
9.2	把复杂性当作复杂性处理	299
9.3	开放的复杂巨系统	302
9.3.1	巨系统	302
9.3.2	复杂巨系统	303
9.3.3	开放的复杂巨系统	304
9.3.4	几类典型开放的复杂巨系统	305
9.3.5	社会——开放的特殊复杂巨系统	307
9.4	从定性到定量综合集成方法	310
9.4.1	综合集成方法的提出	311
9.4.2	综合集成方法的特点	313
9.5	综合集成研讨厅体系	316

9.5.1	综合集成研讨厅体系结构	316
9.5.2	总体设计部	318
第 10 章	技术科学层次的系统科学	321
10.1	引言	321
10.2	控制论	322
10.2.1	控制问题	322
10.2.2	控制任务	324
10.2.3	控制方式	325
10.2.4	控制系统	328
10.2.5	建模与辨识	331
10.2.6	控制论面临的挑战	333
10.3	运筹学	334
10.3.1	从物理到事理	334
10.3.2	运筹问题	335
10.3.3	运筹模型	337
10.3.4	运筹数学	338
10.3.5	运筹学的软化	339
10.4	信息论	340
10.4.1	信息与系统	340
10.4.2	什么是信息	342
10.4.3	信息的度量	343
10.4.4	通信理论	345
10.4.5	信息论的拓广	350
第 11 章	系统科学的工程技术	353
11.1	系统工程的发展和应用	353
11.1.1	实践需要系统工程技术	353
11.1.2	系统工程的发展和应用	355
11.2	系统工程方法论	357
11.2.1	霍尔和切克兰德的系统工程方法论	358
11.2.2	并行工程方法学	361
11.3	系统建模、仿真与分析	364
11.3.1	系统建模方法	364

11.3.2	系统仿真方法	366
11.3.3	系统分析方法	369
11.4	系统评价与决策	371
11.4.1	系统评价与决策的复杂性	371
11.4.2	决策过程与决策问题	373
11.5	应用实例	375
11.5.1	宏观经济智能决策支持系统的研究和 开发	375
11.5.2	洞庭湖治理问题的研究	378
结语		385
注释与参考文献		389
后记		399
索引		401

Table of Contents

Prologue	1
1. Introduction	1
1.1 Sketch of Ancient and Modern System Thoughts	1
1.2 Formation and Development of Systems Science	4
1.2.1 Scientific and Technological Background	4
1.2.2 Formation and Development from 1940's to 1960's	5
1.2.3 Development from 1970's to 1980's	8
1.2.4 Development since 1980's	9
1.2.5 Development of System Science in China	10
1.3 System Structure and Important Position of Systems Science	12
2. Basic Concepts and Methods	17
2.1 System, Structure, and Hierarchy	17
2.1.1 System	17
2.1.2 Structure and Sub-system	18
2.1.3 Wholeness and Emergence	20
2.1.4 Hierarchy	22
2.1.5 Classification of Systems	23
2.2 Environment, Action, and Function	23
2.2.1 Environment of System	23
2.2.2 Boundary of System	24
2.2.3 Opening and Closure	25
2.2.4 Action of System	25
2.2.5 Function of System	26
2.3 State, Evolution, and Process	27
2.3.1 State of System	27
2.3.2 Evolution of System	29
2.3.3 System and Process	30